水稻精準農業(耕)體系之研究
第三章　精準農業之關鍵要素與科技
15 -24, 2000

第三章　精準農業之關鍵要素與科技

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝系作物逆境研究室

摘要 ---------- 16
壹、前言 ---------- 16
貳、精準農業 ---------- 17
參、精準農業的關鍵要素 ---------- 18
肆、精準農業的關鍵科技 ---------- 20
伍、結語 ---------- 22
陸、引用文獻 ---------- 23
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 24

第三章　精準農業之關鍵要素與科技

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝系作物逆境研究室

摘　要

人類的農藝史係一段長期實際耕作加上經驗累積與不斷改良的發展歷程，對於可耕地的耕作方法傳統上在同一塊農田採用一致性(uniform)的耕犛、施肥、播種與病蟲害管理等作業，完全忽略了天然和人爲連續性處理引起農田各定點的時空變異。長期下來，農田的諸種環境問題必然逐一衍生，例如土壤營養元素不均衡、酸鹼值不對、人造化學品殘毒累積、及化學毒物自農田的滲流與排放等，導致土質劣化而不利於農作生產。自二十世紀末起環保意識大大抬頭，精準農業理念的倡導亦因運而起，迅速而廣泛的受到世界各地重視，各種實務性的作法也開始試驗性的展開，逐漸的形成較爲完整的理論與作業系統。精準農業或稱精準農耕、特定地點農耕、處方式農耕、變異率應用技術等，由知係一正在發展中融合多元學術領域之嶄新現代化農業應用科技，發展歷史甚短迄今僅約二十年。精準農業簡要的說就是瞭解與關懷農田(土壤與農作物)的想法和作法，提供同步提升作物品質及環境保護機會而達到永續精準管理農業系統之目的。成功實施精準農業之關鍵要素爲資訊(information)、科技(technology)、及經營管理(management)等三項，相關統合型科技爲特定農田管理與決策支援系統(site-specific management & decision support system)、遙測與監視系統(remote sensing and spatial monitoring system)、差異性農機作業系統(differential action system)、及農場經營管理系統(farm management system)等四種，本文並特別介紹四種重要的個別型關鍵科技: (1)遙測科技、(2)全球定位系統、(3)地理資訊系統、及(4)變異率施用科技。

關鍵詞：精準農業、精準農耕、特定地點農耕、關鍵要素、關鍵科技。

壹、前　言

在農作物栽培過程當中，諸如該不該灌溉、該不該施肥、該不該噴藥、該噴施多少量的那一種農藥等等問題，經常困擾農民朋友。爲節省開支或減少麻煩，通常農民希望採用一種萬能的解決方法，能夠畢其功於一役，一次就完全而澈底的解決所有的問題。很不幸的，大自然卻無法令人預測，農事亦非盡如人意般的單純，世上並不存在萬靈藥。儘管圖示上顯示爲同

質均一的土地，事實上可能具有極爲複雜的解剖構造，各土層的性質有著極大差距。是的，真實世界就是這樣，很難用單一方法克服所有的困難，潛在的複雜度往往是目測無以想像的。

人類的農藝史係一段長期實際耕作加上經驗累積與不斷改良的發展歷程，對於可耕地的耕作方法傳統上在同一塊農田採用一致性(uniform)的耕犛、施肥、播種與病蟲害管理等作業，完全忽略了天然和人爲連續性處理引起農田各定點的時空變異。尤其當農田面積增加後，人力短缺下勢必配合機械化工作，更是必須採取統一操作方法。雖然農作收穫物數量在農田出現空間變異，不同土層或土帶已呈現明顯貧脊或過肥現象，卻仍舊一層不變的採行此種不當而無效率的作業方式。長期下來，農田的諸種環境問題必然逐一衍生，例如土壤營養元素不均衡、酸鹼值不對、人造化學品殘毒累積、及化學毒物自農田的滲流與排放等，導致土質劣化而不利於農作生產。自二十世紀末起環保意識大大抬頭，人們強烈的關心青山綠水的永續性，環境保護與生態維護議題風起雲湧，經濟與環境孰重孰輕各有公評。精準農業理念的倡導遂因運而起，迅速而廣泛的受到世界各地重視，各種實務性的作法也開始試驗性的展開，逐漸的形成較爲完整的理論與作業系統。

貳、精準農業

精準農業(precision agriculture, PA)或稱精準農耕(precision farming, PF)、特定地點農耕(site-specific farming, SSF)、處方式農耕(prescription farming, PF)、變異率應用技術(variable rate application technology, VRAT)等，由前述得知係一正在發展中融合多元學術領域之嶄新現代化農業應用科技，發展歷史甚短迄今僅約二十年。

一、何謂精準農業

精準農業顧名思義乃指對於農田各定點之土壤與農作物施予最適切處置的農作(耕)方法，簡要的說就是瞭解與關懷農田(土壤與農作物)的想法和作法，提供同步提升作物品質及環境保護機會而達到永續精準管理農業系統之目的。精準農業的中心思想就是管理農田的變異性，包括空間的變異(spatial variability)、時間的變異(temporal variability)及預期的變異(predictive variability)等三大類。農田的空間變異可以由橫跨農田的土壤與作物之差異分佈實際展現，時間變異能夠從生育進展及歷年表現之差異評估，而預期變異則可由預定值(predicted value)與實測值(actual value)間比較區分出差異。

二、精準農業內涵

於是乎，精準農業包括以下內涵：(1)觀測特定農田狀態與農作物生長情形，(2)評估環境變異對農作物造成之衝擊，(3)綜合現狀觀測與決策支援系統做出判斷，(4)針對各定點施予及時而有效的因應對策，(5)各種作爲配合定點農田及作物的實際需求並兼顧環保平衡，及(6)以維持穩定的農作物生產、高品質收穫物與農田永續經營爲最終目的。這些項目也可視爲實施精準農業的步驟或作業程序，以土壤取樣(soil sampling)及產量分佈(yield mapping)調查作爲是實施精準農業之啓始步驟。對於實施精準農業的特定農田，播種前的土壤取樣可以獲取土壤肥力之空間分佈，栽植期間的土壤取樣可以瞭解土壤肥力之時空變化趨勢，收穫時的土壤取樣解釋了農作物生產的因果關係。另一方面，此一特定農田前期產量空間分佈圖說明了當地農田肥力與環境變異對產量的可能影響，當期產量空間分佈圖展示了差異性處理的成效並作爲下一期規劃作業參考，歷年產量分佈則顯示出當地的時間變異區間。

而在生育期間，農田狀態與作物表現的即時追蹤，除可經由決策支援系統輸出差異性處理對策，並可同時模式模擬出預期的產量空間分佈圖。此一預期的產量空間分佈圖呈現出農田空間變異之顯著性，且回饋再作爲差異性處理之決策依據。如此循環，利用即時的追蹤與管理改進生育期間的各種作業，終至達到精準管理需求。

三、實施精準農業預期成效

實施精準農業的結果可以獲得六種預期成效: (1)提高產量與品質、(2)供給各相關資訊而改進經營管理決策、(3)改善農藥與肥料施用效率而減輕資材及費用的支出、(4)提供更準確的農場管理紀錄、(5)增加整體農耕效益、及(6)降低環境污染。值得注意的是，實施精準農業未必獲得最大產量，而係在不惡化環境前題下經由減少非必要支出、降低環境污染及穩定生產與品質獲取最高整體農(作)耕效益。

四、精準農業實施方法

欲實施精準農業，生產者必須依照農田狀態、作物種類與實施目標之綜合資訊評估結果，選用適當的機具與技術，再根據環境變化及農作物表現給予適切的處理。以化學資材之處理爲例，其實施目的在於將適當的資材以適當的用量施予各定點(農田之網格化點)，補償或改善環境條件而達到最妥善的處置，使得農作物獲得最佳生長表現乃至於最大生產。各定點可能獲得不等施用量，由具可變異率機具(variable rate equipment)依照各定點特定需要逐點施用。以這樣的特定地點經營管理理念(site-specific management concept)與處方式作法(application to prescription)相同的實施於播種、耕犛、收穫及收穫後處理等階段，即構成生產過程的精準管理一不過量也無不足，獲得質量具佳的最終生產結果。最重要的是在任何作業之前，應該先予準確與精確的偵測與分析後，才能做出合理而適當的決策進行最適切的處置。

參、精準農業的關鍵要素

精準農業爲肇始於農作生產之新觀念，且受到林業、漁業及牧業的重視而發展各自適用的系統，惟目前仍以農作生產較爲多元化和普及化。精準農業可簡單定義爲最佳化農作生產之一種全備系統(comprehensive system)，從作物生產前規劃開始，包括生產過程中的耕犛作業、播種、化學物品施用、收穫、乃至於收穫後處理等完整過程。依照當地的需求，可以分別訂定五項運作精準農業的主要方向(或目標): (1)增進生產效率(increased production efficiency)、(2)改良產品品質(improved product quality)、(3)提高化學品利用效率(more efficient chemical use)、(4)節約能源使用(energy conservation)、(5)保護土壤與地下水源(soil and ground water protection)，當然也可以是多重方向(或目標)。明確訂出方向後，接著需要認識與瞭解精準農業的關鍵要素，成功實施精準農業之關鍵要素爲: (1)資訊(information)、(2)科技(technology)、及(3)經營管理(management)(Precision Agriculture, 2000)。

一、資訊

資訊乃現代化農民最珍貴的資源(產)，即時而準確的資訊係從規劃至收穫後處理之全生產過程各環節中之要素，重要資訊內容包括: (1)農作物特徵、(2)土壤性質、(3)肥料需要、(4)雜草族群、(5)病蟲族群、(6)作物植株生長反應、(7)產量數據、及(8)收穫後處理資料等八類。

實施精準農業需要整合這些相關資訊成爲資料庫，不是一條條生硬的文字，而是成爲模式化與系統化活生生的決策系統。能夠應用在栽培與經營管理上，也能夠應用在處理環境變異，作爲逆境及災害

的因應措施與策略。在農作物生育期間的即時監測上，又成爲判讀與決策的憑據，以做出及時的指揮處置排除問題。據此原則可以訂出(1)農作栽培與管理資料庫(cultivation & crop management database)，至少包括(A)實施精準農業農田之最適農作物栽培條件、(B)農作物最佳栽培管理策略、(C)判斷農作物生長表現之決策模式、及(D)各種可能環境狀況之因應對策等四要件；及(2)土壤性質與管理資料庫(soil property & management database)，至少包括(A)實施精準農業農田之土壤性質(土壤結構、土質分佈)、(B)最適農作物生長之土壤條件、(C)改善土壤肥力之因應措施與策略、及(D)判斷土壤肥力分佈狀態之決策模式等四要件。

二、科技

現代化農業生產可能利用到許多有關科技，例如電腦軟硬體(computer and software)用來整合與處理資料，地理資訊系統(geographic information system, GIS)協助彙整農田與作物多層次資訊，全球定位系統(global positioning system, GPS)作爲農田與作物之定位，各式感測器(sensors)於偵測與追蹤土壤性質、化學品處理、作物生育狀態、收穫、及受穫後處理等過程，決策支援系統(decision-making system)以整理與分析即時資訊並做出決策而回饋控制或調整操作程序，以及操作農機具(operating machines)來延續感測與決策系列做出實際處置步驟(如播種、施肥、噴藥、灌溉、收穫、收穫後處理等)。

這些科技均爲精準農業體系之可能構成因子，經由嚴謹規畫統合組成一套環環相扣的專家作業系統，達到精準管理目的。其實，嚴格來說並非物理學上既精又準不可絲毫差距的作法，而係相對標準的差異性處理，藉著滿足空間分佈各定點的微小差異換取整片農田的大幅利益提升。據此原則可以訂出四種統合型科技: (1)特定農田管理與決策支援系統(site-specific management & decision support system)，至少包括(A)實施精準農業農田地理資訊系統(含空間網格化定位)之建制、(B)多層次資料之建立與更新、(C)決策支援系統之建立與指揮運作、(D)即時資訊之處理與分析、及(E)差分全球定位接收技術(dGPS receiving technology)以精確定位各定點之地理座標等四要件(Whelam *et al.* 2000)；(2)遙測與監視系統(remote sensing and spatial monitoring system)，至少包括(A)實施精準農業農田與農作物監視遙測系統之建立、(B)農作物與土壤遙測光譜資料庫之建立、(C)即時遙測資訊之追蹤與處理、及(D)遙測資訊判讀與決策支援系統之連結等四要件；(3)差異性農機作業系統(differential action system)，至少包括(A)具變異率功能噴施農機具、(B)產量收穫追蹤農機具、(C)土壤與作物性狀感測農機具、及(D)衛星定位與資訊接收系統等四要件；及(4)農場經營管理系統(farm management system)，至少包括(A)實施精準農業之農田規劃、(B)農場之經營管理、(C)農作物產銷流程、及(D)農作物收穫後處理等四要件。

三、經營管理

精準農業體系之成功與否，主要在於體系之經營管理，使得資訊與科技結合成一完善的操作體系而充分發揮體系內各子系統的整合功能。因此，缺少具有效率與效能的經營管理，資訊將未能有效處理與分析，技術將無法落實於實務操作，當然就難以做出精準管理決策與處理應用於農作物生產。因此，如何規劃出完整詳善的經營管理作業於精準農業體系中，實爲體系成功運作的關鍵，亦爲運作精準農業體系的先決條件。反之，若無法結合必要的組件，同步執行系列程序以達到精準管理目的，則精準農業體系勢將無法顯現其整體效益。

經營管理的成功關鍵在於人，培訓能夠運作體系的人，發揮人的工作效率與效能。運作精準農業體系的人需要具備專業的技能，掌握時機的做出決策選擇，依照決策做出正確的處理動作。

最後，特別要指出常態運作精準農業體系單位(機構或團隊)的重要性，也就是設置常設單位的必要性。精準農業體系並非個人所能獨立操作，體系的『後勤支援』非常的重要與必要，是整個精準農業體系永續經營的基礎。此常設單位具有八項功能: (1)回顧與評估精準農業相關之文獻、新知及應用科技，提供適時和即時建言(議)；(2)歸納必要研究方向以進行特定地點作物管理農藝措施之經濟效益及環境衝擊影響評估，改進因應對策；(3)積極發展研究方法、資料蒐尋及資訊儲存之規格化標準，助益於體系之研發工作；(4)整合相關學門領域專家學者協力進行各項研究，開發系統所需多元技術；(5)加速精準農業體系關鍵技術之研發與轉移，推廣精準農業之應用；(6)拓展精準農業體系在收穫後處理上應用層面，提升收穫物品質；(7)確保改進精準農業體系組件與功能之必要研發工作，並提供使用者高品質教育訓練；及(8)溝通精準農業體系使用者、研究人員、組件製造廠商、農政單位、立法機關及學生之間交流資訊，促進精準農業之永續經營與發展。

肆、精準農業的關鍵科技

從人類歷史的演化過程觀察，農業生產系統進步之鑰多伴隨著其他產業科技的發展而啓動，例如工業革命時期機械與化學的創新製造出化學肥料，大幅提高了農作物生產；生物科技時代造就了基因工程技術，使得「理想作物(ideal crop)」育種成爲可行，給解決人類糧食危機帶來光明願景；如今到了資訊世紀，知識與科技的結合開創出精準農業的潛力，使人們有能力精準的管理農作物生產過程而得以穩定農業生產與品質。透過差分全球定位系統(differential Global Positioning System, dGPS)、地理資訊系統(GIS)及微電腦等組件，人們可以將充足的農作生產知識連結來判斷與追蹤農田各定點的時空變異，應用適當的農機系統給予農作物和土壤及時而適當正確的處置與管理達到精準農業目的。如此作爲將可同時滿足人們對於農業生產的經濟要求及環保需求，以差異性處理方式對應的配合並控制作物與土壤現況所需的資材(源)投入，不僅增進資材使用效率(resource use efficiency)亦降低對環境的負面衝擊，在環境生態與農場收益上達到雙贏境界。本文特別介紹四種重要的個別型關鍵科技: (1)遙測科技、(2)全球定位系統、(3)地理資訊系統、(4)變異率施用科技(variable-rate technology)等四種。

一、遙測科技

遙感探測在於從遠端收取特定地區之感測資料，並予以詳細而真實的描述該地區之實際情景，再詳實(儘可能的)的傳遞至接受端顯示。

以光譜遙測(spectral remote sensing)爲例，通常將光譜感測器承掛在不同載台的飛行體上來偵測地表植被反射光譜。從天氣配合度觀點，航空偵測系統(airborne measuring system)之安排較衛星觀測(satellite observation)單純；從涵蓋面積立場，則較地面觀測(ground observation)寬廣。如美國航空及太空總署(National Astronautics & Space Administration of the United States, NASA)之先進熱溫與土地應用感測器(Advanced Thermal and Land Applications Sensor, ATLAS)遙測系統言，常裝載於 Stennis Lear jet 噴射機上同時感測 15 條多頻譜光輻射(multispectral radiation)；像元解析度(resolution per pixel)可達 2 公尺且左右視角(swath width)可達 30 度，波長涵蓋熱紅外線(thermal

infrared spectrum)、近紅外線(near-infrared spectrum)及可見光(visible spectrum)波段，並可同步予以即時主動校正，包括幾何偏差(geometric abnormalities)與輻射修正(radiometric calibration)，再經重組線掃描成爲二度空間影像資料(Miller, 2000)。依照植被生長情形或土壤特性，可選取所需三條波段，賦予紅、綠、藍三原色組構彩色影像圖顯示。

1. 土壤物特性遙測

若能獲知一特定農田土壤生產潛力之空間分佈圖及土壤之農作物可利用營養組成空間分佈圖，則可據以施用特定量之肥料與有機質於定點來調節土壤肥力，且可預知產量及分佈。如此程序可最佳化該特定農田之經濟效益，並將土壤營養元素流失及過量施用可能性降至最低。因此，欲實施土壤精準管理，當首先瞭解農田之肥力空間分佈(spatial mapping of fertility for a field)，再追蹤土壤肥力之時空變異，因時因地置宜的施用適當肥料之合適用量，以獲得預期的作物產量。該特定農田歷年產量資料可作爲其土壤生產潛力評估基準，多年之產量分佈資料則可提供吾人瞭解當地氣候狀況，並分析氣候(或天氣)對該農田產量變異之影響。

土壤質地(尤其粘土比例)與有機質含量乃土壤活性化學組成分，影響土壤供應農作物所需之營養成分，也關係土層水分儲存容量(soil moisture storage capacity)(Whelan *et al.*, 2000; Parsons, 2000; Miller, 2000)。惟這些構成因子相當困難於短期間內加以改良，瞭解其在土壤中濃度將有助於先期處理和當時生產資材投入決策之訂定。遙測技術能被夠利用於估測土壤表層有機碳化合物濃度，經由土壤導電度(soil electronic conductivity)的遙測資料與黏土濃度之直線相關，吾人可據以估測土壤黏土濃度。由澳洲精準農業中心(Australian Centre for Precision Agriculture)研究顯示，粘土(clay)及有機質含量對某特定農田高粱產量具有顯著影響，而決定土壤含水量的土質因素則對澳洲大多數土壤主要穀類作物生產均有明顯影響(Stewart, 2000)。其他土壤成分如可利用營養元素含量(available nutrient levels)和酸鹼值(pH)亦影響產量，通常實施精準農業的考量次序以最主要的產量限制因子爲優先，於獲得控制後再視狀況依序處理各項因子。然精準農業的精神並非去產生完全均一的農田，而係調和各定點至各別最佳情境，因此最終產量可能仍存在空間變異，惟各定點或將達到其最高生產潛力。經由差異性處理避免了各定點多餘的資材投入，於是非但減少了經營管理成本同時降低了對環境的破壞及後續污染改善費用，增添了實施精準農業的整體經濟效益。倘若某一特定農田經歷了精準農業體系的操作檢驗後，仍然無法提升其生產潛能或經濟效益，則此一農田或可認定爲非宜農土地而另做其他產業用途，或不須再施予額外花費以減輕經濟損失。

美國普渡大學研究人員開發「土壤 pH 及硝酸態氮感測器」以利用於精準農業土壤酸鹼值與硝酸態氮之管理(NCR 180 Site Specific Management, 2000)。此系統包括滾動式土壤採樣器(rolling core sampler)、pH 與硝酸態氮特定感測器、電腦自動化分析站(automated analysis station)、曳引機(tractor)及全球定位系統(GPS)接收器等組件，感測器有田間適用離子式電晶體(ion-sepcific, field-effect-transistors, ISFETS)、電子式阻抗計(electrical impedance)、電磁式自感器(electromagnetic inductance)、及色層分析計(spectroscopic device)等種類。聲(音)波型土壤結構感測器係利用頻率訊號來估測土壤中砂土與黏土成分之比例，而分析土層結構。

2. 農作物特性遙測

利用遙測方法追蹤各定點農作物生長表現，亦可估測該農田可能產量之空間分佈。當病蟲害或災害(天然或人爲公害)

發生時，可利用遙測技術於監視危害程度與未來進展，展現該項損害徵狀之空間分佈(圖)，俾利吾人給予及時的差異性處理。差異性處理乃藉由前述方法建立之農田各定點空間分佈圖，配合氣象環境指標及作物反應模式來導引，將各定點限制因子卸除。

遙測之優點是提供即時農作物生長狀況，成爲當時產量空間分佈之估測依據，而非依賴該農田過去多年之產量紀錄，其可靠性與準確度均較佳。利用遙測資料估測農田之產量空間分佈有若干方法，常用之技術爲農田之綠度(greenness)分佈，即在農作物生育關鍵時期觀測綠度之空間分佈，由於該關鍵期綠度與最終產量高低具有密切相關，因此得以研判農地之產量空間分佈情形。綠度計算公式主要係利用農作物植被紅光及近紅外光波段之反射比值(reflectance)，或加以不同比例(ratio)或權數(weighting factor)計算之，文獻上常見之各種植被指數(vegetation index)即是。此一技術係採用相對比較方式來區別產量高低，必須先建立該農田之空間分佈基礎線(spatial distribution baseline)，據以比較與潛在產量(yield potential)之間差異的空間分佈。惟特定農田有其特定環境與法則，可能無法延用至所有農田，參與精準農業之農田均應建立其空間分佈基礎線。此外，亦有利用作物植被熱紅外線測溫之能量動態分佈，相互比較熱像之時空變異與產量關係而估測未來產量及比較不同農田產量差異。此一技術需配合作物生長調查與土壤營養元素及水分之追蹤分析，以解釋造成熱紅外線測溫差異之原因，並作爲判斷根據。

二、全球定位系統(GPS)

全球定位系係美國軍事單位爲精確定位戰場上人物的位置爲目的所研發之技術，在波斯灣戰爭之後開放予一般大眾使用，自此而產生多樣化用途。在精準農業之應用上，可分別進行即時定位協助偵測農田及作物各定點當時之差異分佈，或定位各地點以利於歷年資料之統計及未來生產資料之評估，經由決策支援系統輸出因應差異性處理方法與策略，而降低生產費用並減少對環境的負面衝擊。

三、地理資訊系統(GIS)

地理資訊系統爲一電腦應用軟體，設計來作爲處理與展示農田空間分佈多層次資料的工具。吾人可將地理資訊系統視爲一具有電腦運算能力的地圖，隨時可以將輸入的網格化定位化的資訊重組、運算、分析與顯示，更新時空變異之綜合結果。顯示的方式從簡單的數字、文字、圖、表等型式，至搭配複雜的聲光影像俱全的現代化多媒體作法，以加深使用人或觀看人的印象。亦可另予修飾、印出或儲存於資料庫，供後續多元化利用，例如結合農藝模式及決策支援系統而成爲有力的經營管理工具。

四、變異率施用科技(Variable-rate technology)

精準農業體系經由對特定地點精準管理方式(site-specific management)，提供了解決這些潛在問題的途徑，試將資源投入與農藝措施配合農田各定點土壤性質與作物需求，以差異性處理(differential treatment)原則滿足農田空間變異分佈。換言之，即在找出各定點影響生長或產量之主要限制因子後，迅捷地以具變異率功能噴施農機具進行差異性作業施予適當措施，滿足需求而卸除限制因子之負面效應。

伍、結語

資訊是一切成功產業達成目標的充分條件，技術則是產業理想具體實踐的必要條件。拜現代資訊與技術之賜，農業投入與生產過程已能相當詳細的逐步追蹤；

吾人可經由生產資料的收集與分析，瞭解到過程中的時空變化及特性，經由土壤與環境變因的分析與歸納，模擬出可能的因應對策。欲將傳統農業制度與做法更改爲精準農業體系並非一蹴可及，首先需要有堅實的研究與教育基礎，發展和改進必備的資訊與技術，尙且獲得必要的政治及經費支持。精準農業在臺灣仍處於啓蒙階段，爲了立足於二十一世紀兼顧經濟與環保的永續農業潮流，善用蓬勃發展的科技和組織化系統化的資訊，國內勢必朝向主流的精準農業進展。如此，作爲推動工商產業能源的農業產業，才能順勢掌握轉型升級的契機開創出第二春，同時擔當維繫民眾穩定糧食供應的重責大任。

陸、引用文獻

1. Miller, T. L. 2000. Precision Agriculture. http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/precisionag/
2. NCR 180 Site Specific Management, 2000. http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/SiteFarming/ncr180.html
3. Parsons, N. J. 2000. Determination of the effect of soil organic matter content on the measurement of soil nitrogen levels with an ion-specific electrode. http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/SiteFarming/nitrate.html
4. Precision Agriculture: A comprehensive approach. 2000. Department of Biological and Agricultural Engineering. NC State University. http://www5.bae.ncsu.edu/programs/extension/agmachine/precision/
5. Stewart, C. 2000. The potential for variable-rate fertiliser application in cotton. http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/people/craig/craig_article.htm
6. Whelam, B., A. McBratney and B. Boydell. 2000. The impact of precision agriculture. http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/impact.htm

Chapter 3 Key Elements and Technology for Precision Agriculture

Chwen-Ming Yang
Crop Stress Research Laboratory, Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, 413 ROC

ABSTRACT

Conventional arable land management has developed towards managing fields uniformly while ignoring the inherent spatial and temporal variability found on most farmlands. The management practices have evolved from personal experience over generations. Strategy options are limited to reduce loss in crop production and decision making tends to over treat land with agrochemicals. As a result, deleterious effects on the farmland ecosystem, pollution of water resources, and human health problem etc. occur by the misuse of farming strategy. Precision agriculture, also known as precision farming, site-specific farming and prescription agriculture, is a management system enabled by the advent of applicable information and technologies with the goal of increased efficiency and economic gains in the agricultural activities. It is still a developing technology that integrates and modifies existing techniques to produce a new set of sophisticated system approach for the management of agriculture. With this framework, varied treatments are applied at a fine-scale local level and variability in soil and crops are precisely monitored, assessed, and treated. It is not necessarily to attain the maximum yield but may be to maximize financial advantage while operating to overcome environmental impacts. There will be a significant improvement on the use of management information and control systems and an increased efficiency of decision making and operation. Key elements for a successful precision agriculture are information, technology, and management with remote sensing, global positioning system, geographic information system, and variable-rate application technique as four most important technologies.

Key words:Precision agriculture, Precision farming, Site-specific farming, Key element, Key technology.